AUS DER I. MEDIZINISCHEN KLINIK DER UNIVERSITÄT MÜNCHEN
DIREKTOR: PROFESSOR DR. E. VON ROMBERG.

DIE TAGESSCHWANKUNGEN DER KOHLENSÄURESPANNUNG DER ALVEOLARLUFT UND IHRE URSACHEN.

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR ERLANGUNG DER DOKTORWÜRDE
IN DER GESAMTEN MEDIZIN

EINER HOHEN MEDIZINISCHEN FAKULTÄT
DER KGL. BAYER. LUDWIG-MAXIMILIANS-
UNIVERSITÄT ZU MÜNCHEN

VORGELEGT VON

HERMANN ERDT
AUS MÜNCHEN.

LEIPZIG,
VERLAG VON F. C. W. VOGEL.
1915.

AUS DER I. MEDIZINISCHEN KLINIK DER UNIVERSITÄT MÜNCHEN
DIREKTOR: PROFESSOR DR. E. VON ROMBERG.

DIE TAGESSCHWANKUNGEN DER KOHLENSÄURESPANNUNG DER ALVEOLARLUFT UND IHRE URSACHEN.

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR ERLANGUNG DER DOKTORWÜRDE
IN DER GESAMTEN MEDIZIN

EINER HOHEN MEDIZINISCHEN FAKULTÄT
DER KGL. BAYER. LUDWIG-MAXIMILIANS-
UNIVERSITÄT ZU MÜNCHEN

R. UNIV. BIBLIOTHEEK LEIDEN

VORGELEGT VON

HERMANN ERDT
AUS MÜNCHEN.

LEIPZIG,
VERLAG VON F. C. W. VOGEL.
1915.

Gedruckt mit Genehmigung der medizinischen Fakultät
der Universität München.

Referent: Herr Prof. Dr. E. von Romberg.

Das Problem der chemischen Atmungsregulation hat in den letzten Jahren für klinische Fragestellungen eine so weitgehende Bedeutung erlangt, daß es wünschenswert erscheint, über die unter physiologischen und pathologischen Bedingungen eintretenden Änderungen der für die Atmung maßgebenden Faktoren möglichst ausgedehnte Erfahrungen zu sammeln. Der für die chemische Atmungsregulation maßgebendste Faktor, die Kohlensäurespannung der Alveolarluft, kann, wie wir wissen, normalerweise nur innerhalb sehr enger Grenzen schwanken (Haldane und seine Mitarbeiter (3, 4, 5). Über die Gesetze dieser physiologischen Schwankungen sind wir bisher nur unzureichend orientiert. Das Bedürfnis, die Methode der Alveolargasanalysen bis zur Grenze ihrer Leistungsfähigkeit klinischen Problemen dienstbar zu machen, hat zu der Notwendigkeit geführt, kleine physiologische Schwankungen zu erkennen und bei Bedarf durch geeignete Untersuchungstechnik auszuschalten. So erschien es notwendig, Beobachtungsmaterial darüber zu sammeln, wie die Kurve der Kohlensäurespannung während eines Tages verläuft, ob sich überhaupt ein gesetzmäßiger Ablauf der Spannungskurve nachweisen läßt und wieweit etwa beobachtete Schwankungen sich auf die regelmäßigen Einflüsse des täglichen Lebens beziehen lassen. Fanden sich regelmäßige Schwankungen der Kohlensäurespannungskurve, so war weiter die Frage zu erörtern, ob diese Schwankungen bedingt sind durch Änderungen in

der physikalisch-chemischen Beschaffenheit des Blutes oder ob die Tätigkeit des Atemzentrums ähnlichen Tagesschwankungen unterliegt, wie wir sie von seiten des Wärmezentrums als Ursache der Tagesschwankungen der Körperwärme annehmen.

War durch die genannte Fragestellung der wesentliche Versuchsplan für die vorliegende Untersuchung gegeben, so sollte damit noch ein weiterer Zweck verbunden werden. Es sollte nicht nur die für das Verständnis der chemischen Atmungsregulation wichtige Analyse der Gase des arteriellen Blutes durchgeführt werden, sondern es sollten gleichzeitig analoge Bestimmungen auch im venösen Blute gemacht werden. Diese gleichzeitigen Bestimmungen bieten ein Interesse, das über die Frage hinausgeht, ob arterielles oder venöses Blut die Regulation der Atmung beherrscht. Vielmehr sollten unsere Analysen ein Urteil über die Beschaffenheit des Blutes am Anfang und Ende des großen Kreislaufs während verschiedener Bedingungen ergeben und dadurch einen Einblick gewähren in den feineren Mechanismus des Gaswechsels der Gewebe, in die Vorgänge der inneren Atmung, soweit sie sich aus Analysen des Anfangs- und Endzustandes erschließen lassen. Zum mindesten konnte ein annäherndes Urteil erwartet werden über das Spannungsgefälle, das für die Ausscheidung der Kohlensäure maßgebend ist.

Die zur Gasanalyse im arteriellen Blute verwendete Technik ist die schon vielfach in der Klinik benutzte (16, 17, 18, 19) Originalmethode Haldane's. Sie wurde in derselben Weise wie früher gehandhabt. Zur Bestimmung der Gase des venösen Blutes fand die von Plesch (10) angegebene Methode Verwendung. Die ursprünglichen Vorschriften Plesch's wurden streng befolgt und abweichend von Porges, Leimdörfer und Markovici (11—15) die von Plesch empfohlene Anordnung mit Verwendung von zwei Gummisäcken gebraucht. Mit Plesch sind wir der Überzeugung, daß diese Anordnung eine zuverlässigere und gleichmäßigere Gasmischung verbürgt als die von Porges, Leimdörfer und Markovici bevorzugte Verwendung nur eines Luftsacks. Die Untersuchungen wurden an vier gesunden Versuchspersonen durchgeführt, die sich durch eine große Anzahl von Analysen mit der Methode zuverlässig vertraut machen konnten.

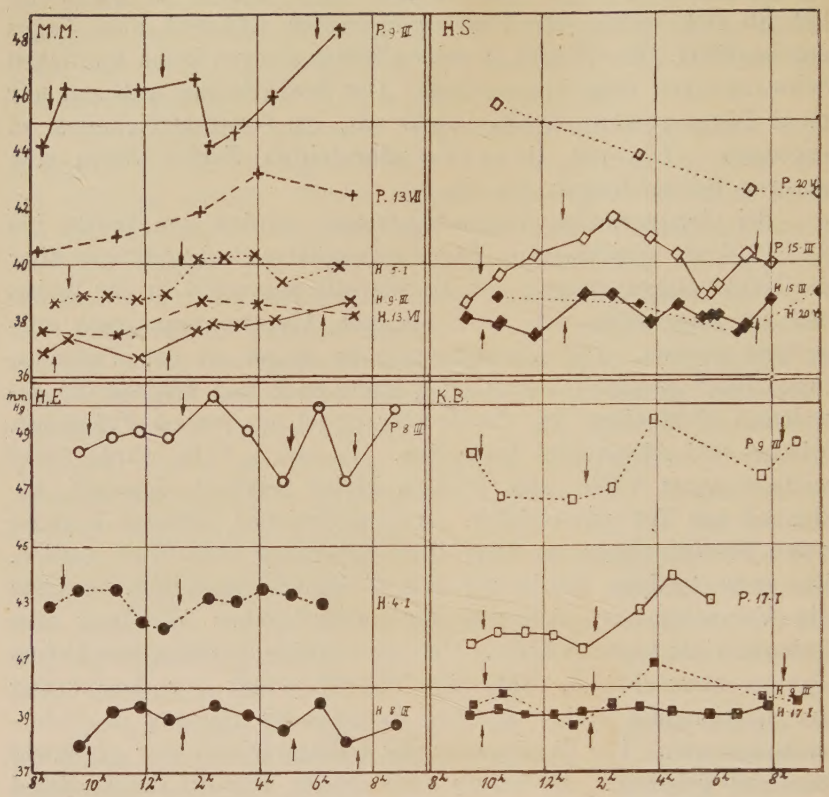
I. Die Tagesschwankungen der Kohlensäurespannung in den Alveolen.

Systematische Untersuchungen über die Tagesschwankungen der Kohlensäurespannung in der Alveolarluft liegen bisher nicht vor. C. G. Douglas (2 p. 356) erwähnt, daß bei ihm selbst morgens unmittelbar nach dem Erwachen die Kohlensäurespannung um

2—2½ mm höher ist als während des übrigen Tages. Higgins (7) hat an sich selbst eine Beobachtungsreihe während eines Tages durchgeführt. Er erkennt in seinen Bestimmungen keine deutlichen Schwankungen nach Tageszeiten. Die Beobachtung während nur eines Tages reichte offenbar nicht aus, um Gesetzmäßigkeiten zu erkennen. Die von Higgins mitgeteilten Zahlen fügen sich unseren Feststellungen gut ein.

Bei vier normalen Versuchspersonen wurden von Januar bis Juli 1914 an verschiedenen Tagen regelmäßige Beobachtungen über die Kohlensäurespannung der Alveolarluft angestellt in der Weise, daß in Intervallen von 1—2 Stunden Alveolargasanalysen ausgeführt wurden. Die Versuchspersonen gingen an den Versuchstagen ihrer gewöhnlichen Beschäftigung nach und nahmen die gewohnten Mahlzeiten ein, die in der Regel aus erstem Frühstück, Mittag- und Abendessen bestanden. In einem Falle wurde nachmittags gegen 5 Uhr eine weitere kleine Mahlzeit eingelegt, bestehend aus Tee mit Gebäck. Aus technischen Gründen konnten keine Bestimmungen im Bett beim Erwachen ausgeführt werden. Die erste Analyse wurde vor dem Frühstück angestellt, nachdem die Versuchsperson sich von der nahegelegenen Wohnung zum Laboratorium begeben hatte. Um die etwaige Wirkung des kurzen Ganges auszuschalten, ruhte die Versuchsperson vor Ausführung der Bestimmung einige Minuten in sitzender Haltung im Untersuchungsraum. Die Temperatur des Laboratoriums war genügend konstant gehalten. Im Laufe eines Tages wurden in der Regel 10—12 Punkte der Spannungskurve bestimmt. Ähnlich der Kurve der Körperwärme kann durch diese Anzahl von Bestimmungen der Verlauf der Kohlensäurespannungskurve mit genügender Sicherheit erkannt werden. Die beobachteten Schwankungen der Spannungskurve sind größer als die Fehlerquellen der Methode. Außerdem beweist der gleichmäßige Ablauf der Kurve an verschiedenen Tagen und bei allen Versuchspersonen, daß es sich um tatsächliche Schwankungen und nicht um Versuchsfehler handelt. Die erhaltenen Resultate wurden erst nach Abschluß der Untersuchungen zusammengestellt und die Gesetzmäßigkeit erst dann erkannt. Die Versuchspersonen können also auch nicht durch die erwarteten Resultate zu einer willkürlichen Änderung ihrer Atmung veranlaßt worden sein. Da die Atmung, wenn auch in sehr engen Grenzen, willkürlich beeinflußt werden kann, ist dieses rein empirische Vorgehen zur Erzielung zuverlässiger Resultate über physiologische Probleme des Atemmechanismus wünschenswert.

Fig. 1.



Kohlensäurespannung der Alveolarluft während eines Tages bei vier Versuchspersonen, M. M. (+, ×), H. E. (○, ●), H. S. (◇, ◆), K. B. (□, ■). Spannung im arteriellen Blute nach Haldane (H. ×, ●, ◆, ■), im venösen Blute nach Plesch (P. +, ○, ◇, □). Die Zeit der Mahlzeiten ist durch Pfeile angegeben.

Einige der erhaltenen Resultate sind in Fig. 1 in graphischer Form zusammengestellt. Die Bestimmungen der Kohlensäurespannung des arteriellen Blutes, wie sie durch Haldane's Methode ermittelt wurde, sind bei den einzelnen Kurven durch ein H kenntlich gemacht. Die erste Bestimmung, morgens nüchtern, ergibt bei allen Versuchspersonen einen relativ niederen Wert. Nach dem Frühstück steigt die Kohlensäurespannung an, durchschnittlich um 0,4 mm. Der höchste Anstieg beträgt 1,1 mm, in einzelnen Fällen war kein deutlicher Anstieg zu beobachten. Das erste Maximum liegt bei allen Versuchspersonen vormittags zwischen 11 und 12 Uhr. Unmittelbar vor dem Mittagessen, das in der Regel nach 1 Uhr eingenommen wurde, ist meist ein leichter Abfall zu erkennen. Etwa

eine Stunde nach dem Mittagessen ist ein zweiter Anstieg deutlich, der meist mehrere Stunden anhält. Es ergibt sich daraus ein zweites, mehr plateauartiges Maximum, das besonders bei M. M. und H. S. deutlich höher liegt als das Maximum des Vormittags. Kurz vor dem Abendessen tritt eine zweite leichte Senkung ein, dem Abendessen folgt eine nochmalige Erhebung. Bei der Beobachtung H. E. vom 8. März ist nachmittags gegen 5 Uhr eine weitere Mahlzeit eingelegt. Ihrem Einfluß ist zweifellos ein Anstieg der Kurve gegen 6 Uhr zuzuschreiben, der in den anderen Kurven nicht vorkommt. Es kann also keinem Zweifel unterliegen, daß jeder Nahrungsaufnahme eine Steigerung der Kohlensäurespannung folgt, die bei den kleineren Mahlzeiten (erstes Frühstück, Nachmittagstee) wenig mehr als 1 Stunde, nach der Mittagsmahlzeit aber mindestens 3 Stunden anhält.

Hasselbach (6) findet bei gemischter Kost keine der Nahrungszufuhr entsprechenden Schwankungen der CO_2-Spannung der Lungenluft. Er selbst führt dies darauf zurück, daß er seine Bestimmungen erst $1^1/_2$ Stunden nach der Mahlzeit machte. Er erwähnt, daß er bei anderen Untersuchungen während der ersten Stunde nach der Mahlzeit ein deutliches Ansteigen der alveolaren CO_2 um 1 bis 3 mm fand. Higgins (7) stellt in einer Tabelle einige Resultate zusammen, die eine sehr deutliche Steigerung der Kohlensäurespannung nach dem Essen fast in jedem Falle zeigt. Die von Higgins beobachteten Steigerungen sind z. T. sehr viel erheblicher als wir sie gesehen haben und betragen in einem Falle über 6 mm. Vielleicht erklären sich diese ungewöhnlich starken Steigerungen durch die Art der zugeführten Nahrung.

Ergibt sich demnach in unseren Kurven ein deutlicher Einfluß der Nahrungszufuhr auf die Kohlensäurespannung, so ist noch weiterhin bemerkenswert, daß die Morgenwerte im allgemeinen am tiefsten liegen und daß die Kurve im Laufe des Tages einen geringen, aber unverkennbaren Anstieg zeigt. Die Verlaufsform der Kurve der Kohlensäurespannung während der Tagesstunden entspricht also weitgehend der Temperaturkurve, wie sie Liebermeister als typisch darstellt. Gemeinsam sind beiden Kurven die niederen Werte am Morgen, das Ansteigen während des Vormittags, eine kleine Senkung um Mittag, ein plateauartiger Wiederanstieg am Nachmittag. Die Feststellung des Verlaufs der beiden Kurven beruht rein auf Erfahrung, über die tieferen Ursachen der Tagesschwankungen fehlen uns begründete Kenntnisse. Es wäre deshalb wohl verfrüht, aus dem parallelen Verlauf der beiden

Kurven den Schluß ziehen zu wollen, daß dieselbe Ursache beide Kurven beeinflusse.

Die Größe der Tagesschwankungen ist ebenso wie bei der Temperaturkurve so auch bei der Kurve der Kohlensäurespannung bei verschiedenen Personen und auch bei derselben Versuchsperson an verschiedenen Tagen wechselnd. Am geringsten sind unter unseren Beobachtungen die Schwankungen in der Kurve von K. B. vom 17. Januar. Die maximale Differenz beträgt nur 0,3 mm, fällt also innerhalb der Fehlergrenzen der Methode. Dennoch zeigt gerade diese Kurve die Tagesschwankungen in recht typischer Weise. Die größte Differenz während eines Tages zeigt die Kurve von K. B. vom 9. März mit 2,1 mm. Die größten Schwankungen aller anderen Kurven fallen zwischen die beiden genannten Werte. Der Durchschnitt beträgt 1,4 mm als Differenz zwischen höchstem und niederstem Werte während eines Tages. Während verschiedener Tage liegen besonders bei M. M. und H. E. die Kurven der Kohlensäurespannung nicht genau auf derselben Höhe. Es rührt dies daher, daß die dargestellten Tageskurven zu verschiedenen Jahreszeiten gewonnen wurden, wenn auch sonst unter vollkommen identischen Bedingungen. Nun wissen wir, daß bei manchen Versuchspersonen die Kohlensäurewerte im Winter höher liegen als im Sommer (Lindhard, Straub 18) und daß diese Jahresschwankungen bei H. E. besonders ausgesprochen sind. Bei H. S. hält sich die Kohlensäurespannung während des Jahres konstant, dementsprechend fallen auch die dargestellten Tageskurven fast vollständig zusammen.

Die Spannung der Kohlensäure im Blute des rechten Herzens

folgt, wie das nicht anders zu erwarten ist, in groben Zügen dem Verlauf der Spannungskurve des arteriellen Blutes. Dementsprechend haben auch Porges, Leimdörfer und Markovici (12, p. 401) unter ihren Bestimmungen der Kohlensäurespannung nach Plesch einige Beobachtungen mitgeteilt, bei denen sie Ansteigen der Kohlensäurespannung des venösen Blutes während der Verdauung fanden. Verfolgt man aber den in Fig. 1 jeweils mit P bezeichneten Verlauf der Spannungskurve des venösen Blutes genauer, so findet man, daß er im venösen Blute keineswegs den regelmäßigen Charakter hat wie im arteriellen. Fast nie findet sich der gleichmäßige, plateauartige Verlauf nach der Mahlzeit wie im arteriellen Blute. Es ergibt sich vielmehr ein gegipfeltes Maximum, das

zeitlich ganz unregelmäßig zur Mahlzeit liegt, in einzelnen Kurven eine Stunde nach Einnahme der Mahlzeit (H. E. am 8. März), in anderen nach 2—3 Stunden (M. M. vom 13. Juli, H. S. vom 15. März, K. B. vom 17. Januar und 9. März). Mitunter ist ein deutlicher Anstieg nach dem Essen überhaupt nicht nachweisbar, oder es tritt sogar 1—2 Stunden nach dem Essen eine tiefe Senkung ein (M. M. vom 9. März). Dieser in den Einzelheiten durchaus unregelmäßige und uncharakteristische Kurvenverlauf kann nur dann erklärt werden, wenn man annimmt, daß die Kohlensäurespannung des venösen Blutes nicht eindeutig der des arteriellen folgt, sondern daß außerdem noch weitere Faktoren die Kohlensäurespannung des venösen Blutes beeinflussen, als deren wichtigste der Grad der Kohlensäureproduktion der Gewebe und die Strömungsgeschwindigkeit des Blutes in Frage kommen.

Dementsprechend sind die Tagesschwankungen der Kohlensäurespannung des Venenblutes im allgemeinen viel größer als die des arteriellen Blutes. Wenn insbesondere während der Verdauung meist ein stärkerer Anstieg der Kohlensäurespannung im Venenblut beobachtet wird als im arteriellen Blute, so kann dies wohl unschwer dadurch erklärt werden, daß in den bei der Verdauung tätigen Geweben mehr Kohlensäure gebildet und an die gleiche Blutmenge abgegeben wird als in der Ruhe. Gerade für die drüsigen Organe wissen wir ja aus den Untersuchungen Barcrofts (1), daß sie in der Ruhe weit über ihren Bedarf hinaus mit Blut versorgt werden und daß sie darum in der Lage sind, die gastransportierenden Eigenschaften bei eintretendem Bedarf weiter in Anspruch zu nehmen, während die Muskulatur, der eine so üppige Blutversorgung nicht zu Gebote steht, bei Vergrößerung des Gaswechsels viel mehr auf eine Erhöhung der Durchblutungsgröße angewiesen ist. Daher kommt es, daß sich eine erhöhte Tätigkeit von Drüsen viel mehr in einer Änderung der Gasspannungen äußern kann, ohne daß notwendig die Durchblutungsgröße, bzw. das Minutenvolum so sehr wächst wie bei Tätigkeit der Muskeln.

Wäre aber das bisher berücksichtigte Moment allein maßgebend, so müßte sich mit absoluter Regelmäßigkeit ergeben, daß die Differenz zwischen Kohlensäurespannung des arteriellen und venösen Blutes während der Verdauung und überhaupt immer dann, wenn vermehrte Mengen von Kohlensäure gebildet werden, zunimmt. Dies ist zwar unter unseren Beobachtungen, wie erwähnt, häufig der Fall, aber keinesfalls die Regel. Gelegentlich finden sich vielmehr ganz plötzliche und sprungweise Änderungen der Differenz

der arteriellen und venösen Kohlensäurespannung, die durch die bisher berücksichtigten Verhältnisse nicht erklärbar sind, z. B. bei M. M. in der Kurve vom 9. März. Und vollends ist es auf keine Weise zu verstehen, weshalb der Abstand der Kohlensäurespannung des venösen von der des arteriellen Blutes an verschiedenen Tagen so außerordentlich wechselt.

So ist z. B. bei H. S. am 15. März die Kohlensäurespannung des venösen Blutes als Durchschnitt von 12 Beobachtungen um 1,8 mm, höher als die des arteriellen (größte Differenz 3,0 mm kleinste 0,5 mm); am 20. Juni beträgt die Differenz durchschnittlich 4,9 mm, Maximum 6,7, Minimum 3,6. Bei K. B. beträgt am 17. Januar die Differenz der Kohlensäurespannung zwischen arteriellem und venösem Blute 3,2 mm (Maximum 4,8, Minimum 2,2); am 9. März durchschnittlich 8,2 mm (Maximum 9,2, Minimum 7,0). Bei M. M ist die Kohlensäurespannung des venösen Blutes am 9. März durchschnittlich um 8,1 mm höher als die des arteriellen (Maximum 9,6, Minimum 6,2); am 13. Juli durchschnittlich 3,6 mm. (Maximum 4,6, Minimum 2,7 mm).

Verfolgt man die Verhältnisse vollends über mehrere Tage (vgl. Fig. 2 und 3), so findet man, daß die Differenz der Kohlensäurespannung des arteriellen und venösen Blutes sich plötzlich sprungweise ändern kann, ohne daß äußere Einflüsse für solche Änderungen verantwortlich gemacht werden könnten. Diese Beobachtungen können nicht durch die Annahme plötzlicher Änderung der Kohlensäureproduktion erklärt werden. Wissen wir doch aus zahlreichen Respirationsversuchen, daß solche Schwankungen der Menge der ausgeschiedenen Kohlensäure, wie wir sie zur Erklärung voraussetzen müßten, unter den Ruhebedingungen der besprochenen Versuche nicht vorkommen. Zwanglos erklären sich aber die vorliegenden Resultate durch die Beobachtungen von Krogh und Lindhard (8) über die Größe des Minutenvolums während der Ruhe. Diese Autoren finden, daß beim Menschen während der Ruhe das Minutenvolum in sehr weiten Grenzen schwankt (zwischen 2,8 und 8,7 Litern in der Minute), abhängig von dem wechselnden Zufluß venösen Blutes zum rechten Herzen. In einer Serie aufeinanderfolgender Bestimmungen finden sie jedoch in der Regel eine bemerkenswerte Konstanz der Durchblutung. Dem entsprechen unsere Resultate durchaus. Wäre die Menge der produzierten und auszuscheidenden Kohlensäure absolut konstant, was auch in der Ruhe nur in erster Annäherung zutrifft, so wäre die Differenz der Kohlensäurespannung zwischen arteriellem und venösem Blut direkt ein Maßstab der Durchblutungsgröße. Daß während eines Tages die Differenz der Kohlensäurespannung zwischen arteriellem und

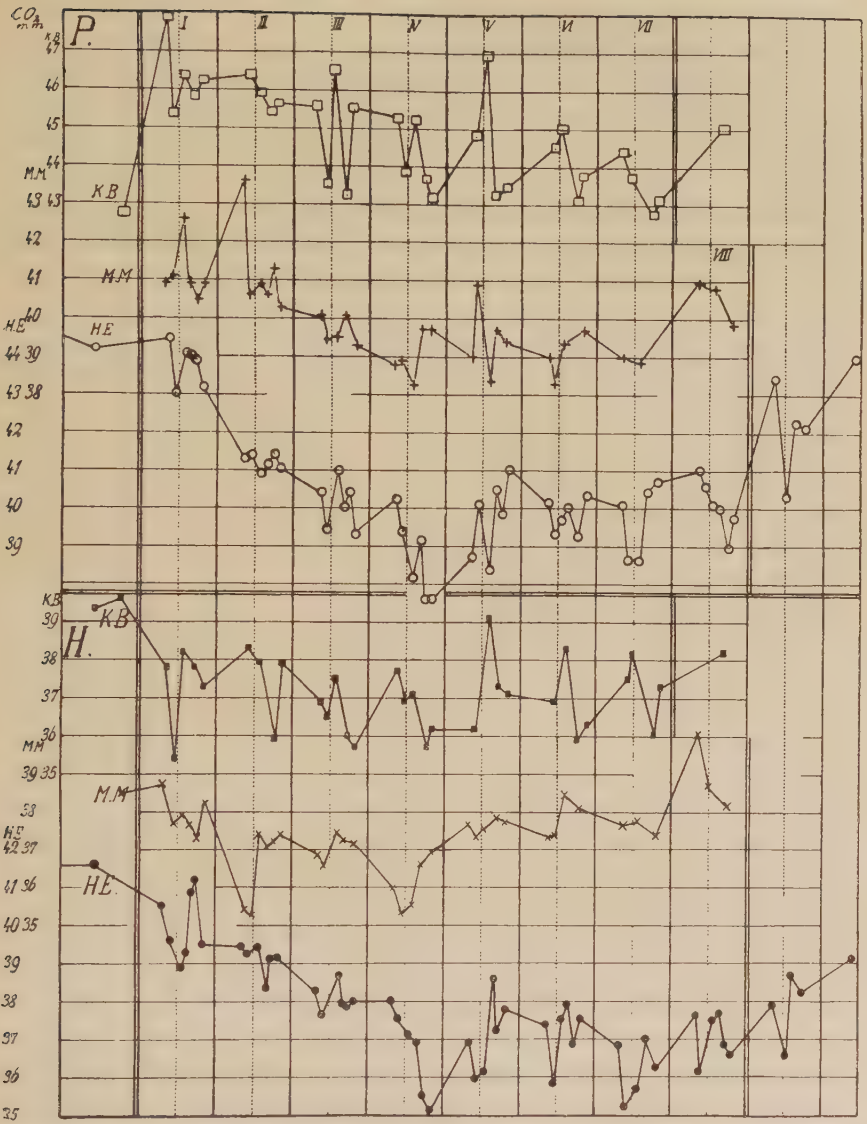
venösem Blute meist nur um mäßige Beträge schwankt, entspricht demnach der Feststellung von Krogh und Lindhard über die bemerkenswerte Konstanz des Blutstroms bei mehreren aufeinanderfolgenden Bestimmungen. Daß aber die Differenz der Kohlensäurespannungen manchmal schon während ein- und desselben Tages, noch mehr aber an verschiedenen Tagen ganz inkonstant gefunden wird, entsprechend den großen Schwankungen des Minutenvolums unter Ruhebedingungen, das macht es unmöglich, Kohlensäurespannungen im venösen Blute als Kriterium der chemischen Atmungsregulation zu verwenden, wie das Porges, Leimdörfer und Markovici (11—15) getan haben. Unter Ruhebedingungen fanden Krogh und Lindhard ein Schwanken des Minutervolums zwischen 2,8 und 8,7 Litern, also um 310 %. Bei H. S. fanden wir Schwankungen der Differenz der Kohlensäurespannung zwischen 1,8 und 4,9, also um 272 %, bei K. B. zwischen 3,2 und 8,2, also um 256 %, bei M. M. zwischen 3,6 und 8,1 mm, also um 225 %. Bei diesen Versuchspersonen finden sich also je an 2 beliebig herausgegriffenen Tagen Unterschiede in der Differenz der Kohlensäurespannung des arteriellen und venösen Blutes, die nahezu von derselben Größenordnung sind, wie sie nach Krogh und Lindhard das Minutenvolum unter Ruhebedingungen aufweist. Würde man nicht den Tagesdurchschnitt, sondern die extremsten beobachteten Werte der Kohlensäurespannung der Berechnung zugrunde legen, so würde man zu Differenzen von beträchtlich höherer Größenordnung kommen, die nicht wohl durch Unterschiede der geförderten Blutmenge, sondern durch Unterschiede der Kohlensäureproduktion zu erklären wären.

II. Der Einfluß der Kostform auf die Tagesschwankungen der Kohlensäurespannung.

Ehe der Versuch gemacht werden kann, die beobachteten Tagesschwankungen der Kohlensäurespannung der Alveolarluft, besonders den Einfluß der Nahrungszufuhr zu erklären, muß ermittelt werden, welchen Einfluß die Art der eingeführten Nahrung auf den Ablauf der Spannungskurve hat. Wir wissen, daß kohlehydratfreie Kost bei Gesunden und Diabetikern die Kohlensäurespannung der Alveolarluft herabsetzt (Straub 17). Die Senkung erreicht in der Regel nach wenigen Tagen ihr Maximum, dann geht die Kohlensäurespannung allmählich auch bei Fortsetzung kohlehydratfreier Kost wieder zur Norm zurück. Diesen Feststellungen liegen Analysen zugrunde, die einmal am Tage, nachmittags zwischen 4 und 5 Uhr, durchgeführt wurden. In dem vorliegenden Zusammenhang

erschien es von Wichtigkeit, festzustellen, wann sich die Wirkung der Kohlehydratkarenz erstmals merklich macht und wie durch sie der Ablauf der Tageskurve beeinflußt wird. Bei 3 Versuchspersonen wurde deshalb der Ablauf der Tageskurve der Kohlensäurespannung im arteriellen und venösen Blute während einer Periode von 7 bzw. 8 Tagen kohlehydratfreier Ernährung verfolgt. Die erhaltenen Resultate sind in Fig. 2 graphisch dargestellt. Übereinstimmend erkennt man in allen 3 Kurven der Spannung des arteriellen Blutes das Absinken der Nachmittagswerte während der ersten, das allmähliche Wiederansteigen während der späteren kohlehydratfreien Tage. Übereinstimmend erkennt man auch, daß im Prinzip der Ablauf der Tagesschwankungen gewahrt ist. Durchweg erkennt man die normalen Senkungen vor der Mittagsmahlzeit und am späteren Nachmittag, durchweg findet sich auch die normale Steigerung nach der Hauptmahlzeit und, soweit eine genügende Anzahl von Punkten ermittelt ist, auch nach den kleineren Mahlzeiten. Im Prinzip erscheint also die Kurve der normalen Tagesschwankungen einfach aufgesetzt auf die bogenförmig nach der Abscisse konvex verlaufende Gesamtkurve, die von Straub als typisch für kohlehydratfreie Ernährung beschrieben ist. Im einzelnen ist noch hervorzuheben, daß die Kohlehydratabstinenz sich alsbald nach der ersten kohlehydratfreien Mahlzeit, also nach dem kohlehydratfreien Frühstück des ersten Tages, in einer besonders starken Vormittagssenkung geltend macht. Bei allen Versuchspersonen führt die Steigerung nach der Hauptmahlzeit den Wert der Kohlensäurespannung nahezu auf Normalwert zurück, bei allen aber fällt mit der Nachmittagssenkung der Kohlensäurewert deutlich und endgültig unter die Norm. Der Wiederanstieg der Spannungskurve nach einigen Tagen kohlehydratfreier Ernährung wird in der Regel eingeleitet durch die normale Tagessteigerung nach der Hauptmahlzeit, die nach einigen Tagen abnorm groß ausfällt und von einer weniger starken Senkung in den Abendstunden gefolgt ist. Im einzelnen ergeben sich geringfügige, nicht prinzipielle Unterschiede in den Kurven der verschiedenen Versuchspersonen. Die Morgensenkung am ersten kohlehydratfreien Tage ist bei K. B. und H. E. schon sehr beträchtlich, bei M. M. noch gering. Überhaupt hält M. M. am ersten Tage seine Kohlensäurespannung noch ziemlich hoch, erst am zweiten kohlehydratfreien Tage wird auch bei ihm die Senkung deutlich. Dementsprechend hat M. M die starke Morgensenkung erst am zweiten kohlehydratfreien Tage. Der Wiederanstieg tritt bei K. B. und

Fig. 2.



Kohlensäurespannung der Alveolarluft während einer Periode von 7 bzw. 8 Tagen kohlehydratfreier Ernährung, im arteriellen Blute nach Haldane (H.), im venösen Blute nach Plesch (P). Zeichenerklärung wie Fig. 1.

besonders bei M. M. früher ein als bei H. E. Vielleicht läßt sich diese Beobachtung und auch das Verhalten von M. M. am ersten kohlehydratfreien Tage dahin verstehen, daß namentlich letzterer

zur Aufrechterhaltung und sofortigen Regulation des Säure-Basengleichgewichts der Kohlehydratzufuhr weniger bedarf als H. E. Größe und rasche Mobilmachung des Glykogendepots dürften dafür entscheidend sein. Von prinzipieller Bedeutung ist der Unterschied nicht. Daß der Wiederanstieg der Spannungskurve durchweg durch die nach der Hauptmahlzeit normalerweise einsetzende Steigerung eingeleitet wird, ist übereinstimmend mit unseren Vorstellungen über die Stoffwechselvorgänge bei Kohlehydratkarenz dahin zu verstehen, daß der gerade mit dieser Mahlzeit hauptsächlich eingeführte Überschuß an Eiweißsubstanzen im Kohlehydratstoffwechsel verwendet wird. Daß die bei unseren Versuchspersonen gefundenen individuellen Differenzen nicht auf Zufälligkeiten beruhen, sondern in dem Verhalten ihres Stoffwechsels begründet sind, geht daraus hervor, daß die charakteristische Kurve der Kohlensäurespannung sich bei allen 3 Versuchspersonen bei einer späteren Wiederholung kohlehydratfreier Ernährung während 4 Tage wieder fand, und zwar in allen wesentlichen Einzelheiten. Für die später zu gebende Deutung der Beobachtungen von Wichtigkeit ist vor allem die Feststellung, daß durch Kohlehydratabstinenz die normalen Tagesschwankungen nicht aufgehoben werden.

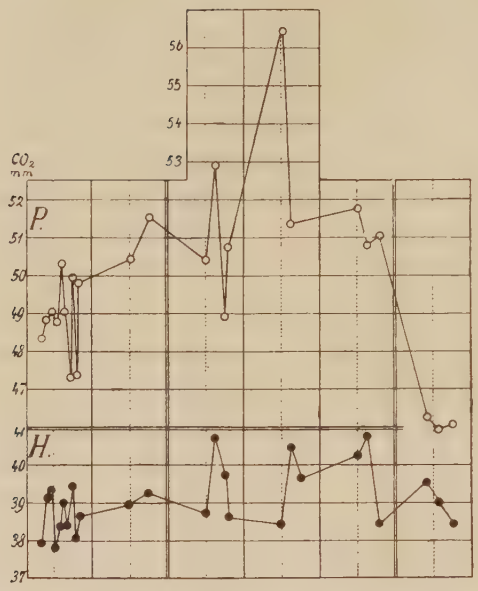
Die Kohlensäurespannung des venösen Blutes sinkt entsprechend der des arteriellen bei unseren Versuchspersonen ebenfalls während der Kohlehydratabstinenz ab. Dies wurde schon von Porges, Leimdörfer und Markovici (12) bei 2 graviden Frauen gefunden. Doch verläuft diese Senkung nur bei H. E. während der ganzen Beobachtungszeit ziemlich genau parallel der im arteriellen Blute beobachteten. Quantitativ finden sich selbst in diesem Falle nicht unerhebliche Unterschiede. Auf Grund der früher erörterten Überlegungen müßten wir annehmen, daß sich während der ganzen Beobachtungsdauer das Minutenvolum bei H. E. unter Ruhebedingungen nicht nennenswert geändert hat. Bei M. M. ist zwar im groben Verlauf der Spannungskurve des venösen Blutes die Senkung und der Wiederanstieg während der kohlehydratfreien Tage erkennkar, doch finden sich während einzelner Beobachtungstage ganz unregelmäßige, aus dem Rahmen unserer Erwartungen herausfallende Sprünge, z. B. für den Morgenwert des zweiten kohlehydratfreien Tages, der ganz abnorm hoch ist, und die Regelmäßigkeit der Tagesschwankungen ist durchaus nicht gewahrt. Bei K. B. vollends, der am Tage vor Beginn der Kohlehydratentziehung eine sehr niedrige Kohlensäurespannung des venösen Blutes aufwies, ist aus dem Kurvenverlauf die typische Senkung

durch Kohlehydratkarenz überhaupt nicht mit Sicherheit zu ersehen, die Tagesschwankungen sind an einigen Tagen ganz unregelmäßig und entsprechen nicht dem Verlauf der Kurve des arteriellen Blutes. Entsprechend den früher erwähnten Feststellungen von Krogh und Lindhard (8) müssen wir annehmen, daß bei den beiden letzten Versuchspersonen das Minutenvolum unter Ruhebedingungen während der Beobachtungszeit von 8 bzw. 9 Tagen mehrfach sich erheblich geändert hat. Die namentlich von K. B. gewonnene Spannungskurve des venösen Blutes würde es nicht erlauben, die Gesetzmäßigkeiten zu erkennen.

Im arteriellen Blute hat auch Hasselbach (6) die Senkung der Kohlensäurespannung bei kohlehydratfreier Diät (Fleischdiät nach Hasselbach) festgestellt. Der Einfluß der einzelnen Mahlzeit auf die Spannungswerte tritt bei den Bestimmungen Hasselbach's weniger hervor wegen der zeitlichen Beziehungen der Bestimmungen Hasselbach's zu den Mahlzeiten. Auf die wichtigen Feststellungen Hasselbach's über die Wasserstoffionenkonzentration des Urins bei dieser Versuchsserie wird später noch einzugehen sein.

Durch Entziehung der Kohlehydrate hatten wir die Absicht verfolgt, das zirkulierende Blut abnorm reich an sauren Valenzen zu gestalten. Umgekehrt wurde in einer weiteren Versuchsserie dem Blute eine abnorme Alkalimenge zugeführt durch Einhaltung vegetarischer Diät. Nach Hasselbach's Feststellungen gelingt es durch diese Versuchsanordnung die Azidität des Urins stark herabzusetzen, in einzelnen Harnportionen sogar alkalische Reaktion herbeizuführen. Im Tagesdurchschnitt steigt die Kohlensäurespannung der Alveolarluft. Diese Feststellungen Hasselbach's können wir bestätigen. Von Interesse war es aber, über Hasselbach's Resultate hinaus zu ermitteln, wie vegetarische Diät die Tagesschwankungen beeinflußt, speziell die Steigerung der Kohlensäurespannung nach der Mahlzeit. Fig. 3 gibt die Spannungskurve von H. E. (bei den beiden anderen Versuchspersonen ergab sich im Prinzip dasselbe Resultat). Im arteriellen Blute findet sich speziell nach der Hauptmahlzeit jedesmal eine starke Steigerung der Kohlensäurespannung, durchschnittlich um mindestens 2 mm, also eine deutlich größere Steigerung als bei gemischter Kost. Die Werte des späteren Nachmittags dagegen (am zweiten vegetarischen Tage wurde ein solcher nicht ermittelt) kehren zu der Norm der Tage mit gemischter Diät zurück. Hätte man also nur diese Werte bestimmt, die für pathologische Verhältnisse als Normalwerte benützt wurden, so wäre der Einfluß der vegetarischen Diät auf die Kohlensäurespannung dem Nachweis entgangen. Mit anderen

Fig. 3.



Kohlensäurespannung der Alveolarluft während einer Periode von 3 Tagen vegetarischer Ernährung. im arteriellen Blute nach Haldane (H.), im venösen Blute nach Plesch (P). Zeichenerklärung wie Fig. 1.

Worten, die Feststellung Hasselbach's, daß der Tagesdurchschnitt der Kohlensäurespannung des arteriellen Blutes bei vegetarischer Diät ansteigt, ist dahin zu erweitern, daß zwar nach vegetarischer Mahlzeit der normale Anstieg abnorm groß ausfällt, daß aber die außerhalb des Einflusses der Mahlzeiten gewonnenen Zwischenwerte sich auf normaler Höhe halten.

Die Kohlensäurespannung des venösen Blutes zeigt in der dargestellten Beobachtungsserie Sprünge, die als unerklärlich zu bezeichnen wären, wollte man sie mit der chemischen Atmungsregulation in Beziehung bringen. Nur durch Änderungen des Minutenvolums werden diese Werte verständlich, besonders der abnorm hohe Mittagswert (vor der Mahlzeit!) am zweiten vegetarischen Tage.

Woher kommen nun diese bemerkenswerten Unterschiede im Verhalten der Kohlensäurespannung bei kohlehydratfreier (saurer) und bei vegetarischer (alkalischer) Diät? Bei kohlehydratfreier Kost äußert sich der Einfluß der Mahlzeit in genau derselben Weise wie der einer gewöhnlichen Mahlzeit mit gemischter Kost

in einer mäßigen Steigerung der Kohlensäurespannung. Erst nach einigen Stunden macht sich die Kohlehydratkarenz in einer Senkung der Kohlensäurespannung geltend, die dann aber für mehrere Tage bleibt. Diese Senkung wurde schon früher (17) bezogen auf eine bei Kohlehydratentziehung eintretende Bildung pathologischer saurer intermediärer Stoffwechselprodukte (Acetessigsäure, β-Oxybuttersäure). Diese Säuren sind nur in geringem Maße harnfähig, sie werden verzögert, in den einzelnen Harnportionen in ziemlich gleichen Mengen ausgeschieden. Dementsprechend findet Hasselbach während der Fleischdiät die Harnacidität an späteren Versuchstagen hoch, aber die sonst zu beobachtenden Schwankungen der Harnacidität unter dem Einfluß der Nahrungsaufnahme sind weggefallen. Bei vegetarischer Kost verursachen die reichlich eingeführten alkalischen Valenzen alsbald ein Ansteigen der Kohlensäurespannung, aber sehr rasch geht nach Hasselbach's Feststellungen dieses Alkali in den Harn über, dessen Wasserstoffionenkonzentration nach der Mahlzeit erheblich sinkt, stärker als bei gemischter Kost. Rasch ist das zugeführte Alkali durch den Harn ausgeschieden und die Kohlensäurespannung der Alveolarluft wieder normal geworden. Die Analyse der Kohlensäurespannung des arteriellen Blutes, d. h. der Alveolarluft nach Haldane's Methode, ist also ein außerordentlich empfindliches Reagens dieser unter dem Einfluß der Ernährung auftretenden Schwankungen des Verhältnisses der fixen Säuren und Alkalien im strömenden Blute.

Aber diese Beobachtungen über den Verlauf der Tagesschwankungen der Kohlensäurespannung bei kohlehydratfreier und bei vegetarischer Diät dienen nicht nur dazu, die Empfindlichkeit der Methode Haldane's zum Nachweis dieser kleinen physiologischen Schwankungen des Säure-Basengleichgewichts im Körper zu erweisen, sondern sie geben auch eine Unterlage für den Versuch einer Deutung der Ursache des Anstiegs der Kohlensäurespannung nach Nahrungsaufnahme. Die abnorm starke Steigerung der Kohlensäurespannung nach vegetarischer Mahlzeit haben wir durch die rasche Resorption zahlreicher alkalischer Valenzen zu erklären versucht. Ebenso dürfen wir annehmen, daß stärkeres Ansteigen der Kohlensäurespannung nach der Hauptmahlzeit an den späteren Tagen kohlehydratfreier Ernährung bedingt ist durch Aufhebung der bestehenden Acidose, sobald der Körper anfängt, den Überschuß zugeführter Eiweißsubstanzen rasch im Kohlehydratstoffwechsel zu verwerten. Aber damit, daß wir die Ursache der Änderung der

Kohlensäurespannung nach Nahrungszufuhr in dem wechselnden Grad der Resorption saurer oder alkalischer Valenzen sehen wollten, würden wir den Tatsachen nicht gerecht. Denn die Kohlensäurespannung steigt in den Stunden nach Aufnahme der Mahlzeit jedesmal an, gleichgültig ob wir gemischte Diät zugeführt haben, oder ob wir durch vegetarische bzw. kohlehydratfreie Kost im strömenden Blute abnorme Mengen von Alkali oder Säuren zur Zirkulation gebracht haben. Die Annahme von Higgins (7), daß die Steigerung der Kohlensäurespannung nach dem Essen so lange als die aktive Resorption der Nahrungsmittel daure und vermutlich proportional der Menge der absorbierbaren Nahrung sei, kann demnach nicht als restlose Erklärung der Tatsachen anerkannt werden. Higgins zieht auch noch ein zweites Moment zur Erklärung der Erhöhung der Kohlensäurespannung heran, indem er diese auf das Auftreten von Schläfrigkeit (drowsiness) nach dem Essen zurückführt. Mit anderen Worten, Higgins nimmt unter dem Einfluß der Nahrungszufuhr eine Änderung in der Empfindlichkeit und Tätigkeit des Atemzentrums an. Dem widersprechen die mit Löwy's Methode (9) gewonnenen Resultate von Hasselbach, daß die Empfindlichkeit des Atemzentrums gegenüber dem physiologischen Reiz der Kohlensäure durch Diät nicht beeinflußt wird. Dem widerspricht auch die Tatsache, daß durch die Art der Nahrung die Größe des Ausschlags der Kohlensäurespannung gesetzmäßig geändert werden kann, während doch durch die Kost der Grad der Schläfrigkeit bei ein und derselben Versuchsperson kaum gesetzmäßig beeinflußt werden dürfte. Umgekehrt freilich könnte man sich angesichts der Feststellungen Straub's (18) über die Vorgänge beim Einschlafen die Frage vorlegen, ob nicht die primär eintretende Änderung der Kohlensäurespannung nach der Mahlzeit sekundär Schläfrigkeit hervorzurufen vermöchte.

Es liegt demnach nahe, die Änderung der Kohlensäurespannung nach Nahrungsaufnahme mit der Tätigkeit der Verdauungsorgane in Zusammenhang zu bringen, wie dies Porges, Leimdörfer und Markovici (12) bei ihren Beobachtungen über die Kohlensäurespannung des venösen Blutes getan haben. Zu dieser Auffassung paßt die Tatsache, daß im arteriellen Blute Grad und Dauer der Steigerung der Kohlensäurespannung mit dem Verlauf der Magenverdauung gut übereinstimmt, während dies allerdings, wie wir gesehen haben, im venösen Blute aus den angeführten Gründen nicht regelmäßig zutrifft. Porges, Leimdörfer und Markovici sehen die Ursache der erhöhten Kohlensäurespannung

in der Verschiebung saurer Valenzen aus dem Blute in den Magen bei Abscheidung der Salzsäure. Der Einwand von Higgins, daß schon kurze Zeit nach Beginn der Magensaftsekretion auch die alkalische Pankreassekretion einsetze, kann unsere Auffassung nicht erschüttern, da es nicht nur auf die zeitlichen, sondern vor allem auf die Mengenverhältnisse ankommt. Da kann es keinem Zweifel unterliegen, daß im Beginn und auf der Höhe der Magenverdauung dem Blute mehr saure Valenzen entzogen werden, und daß erst später, wenn der größte Teil des Mageninhalts in den Darm übergetreten ist, durch vermehrt abgeschiedenes Alkali dieser Säureverlust des Blutes wettgemacht wird. Dementsprechend dauert der Anstieg der Kohlensäurespannung lange, ca. 3—4 Stunden, nach der Hauptmahlzeit des Tages, die längere Zeit im Magen verweilt. Nach den kleineren Mahlzeiten, besonders nach dem rasch den Magen passierenden ersten Frühstück, ist die Kohlensäurespannung oft schon nach einer Stunde oder wenig später auf den Nüchternwert abgesunken. Die Tatsachen sprechen also durchaus zugunsten der Auffassung von Porges, Leimdörfer und Markovici, daß die Schwankung der Kohlensäurespannung nach Nahrungszufuhr im wesentlichen bedingt ist durch die chemische Tätigkeit der Verdauungsorgane, durch die Abscheidung saurer bzw. alkalischer Valenzen aus dem Blute in die Verdauungssäfte.

Über die Kohlensäurespannung der Gewebe.

Die durch die Ergebnisse neuerer experimenteller Untersuchungen an immer zahlreicheren Beispielen erhärtete Erkenntnis von der Bedeutung der Wasserstoffionenkonzentration und der Kohlensäurespannung für die Funktion der Organe veranlaßt zu der Überlegung, wie weit aus der ermittelten Kohlensäurespannung des arteriellen und venösen Blutes ein Urteil über das Verhalten der Kohlensäure in den Geweben selbst gewonnen werden kann. Solche Urteile, die Barcroft's Untersuchungen für viele einzelne Organe im Tierversuch mit großer Genauigkeit ermöglicht haben, können bei Untersuchungen am Menschen immer nur in erster Annäherung ausgesprochen werden und bedürfen in allen Einzelheiten der Ergänzung durch Tierversuche. Der Kohlensäuregehalt des arteriellen Blutes kann für den ganzen Körper als konstant angesehen werden. Dagegen stellt das Blut des rechten Herzens eine Mischung des venösen Blutes aus allen möglichen Organen dar und wir besitzen kein Mittel, den quantitativen Anteil eines

bestimmten Organes an dieser Mischung zu ermitteln. Wenn daher im folgenden von Geweben schlechthin gesprochen wird, so handelt es sich nur um sehr von ferne angenäherte Durchschnittswerte, von denen die Verhältnisse in jedem einzelnen Organ große Abweichungen aufweisen werden.

Die Vorgänge bei der inneren Atmung gestalten sich derart, daß für die Ausscheidung der Kohlensäure ein Spannungsgefälle von den Geweben zum Blute Voraussetzung ist. Bei geringer Blutversorgung eines Organes werden die Gase des venösen Blutes nahezu in Spannungsgleichgewicht mit denen des Gewebes geraten. Bei reichlicher Blutversorgung bleibt die Kohlensäurespannung im Organ höher als in dem ausströmenden Blute. Kann demnach auch in vereinzelten Organen die Kohlensäurespannung niedriger sein als im Blute des rechten Herzens, so trifft doch durchschnittlich die Aussage zu, daß in den Organen die gleiche oder eine höhere Kohlensäurespannung herrscht als im Blute des rechten Herzens. Diese letztere ist, wie wir sahen, unter Ruhebedingungen großen Schwankungen unterworfen, da sich die Kohlensäurespannung des venösen Blutes je nach der Menge des Minutenvolums mehr oder weniger von der als konstant anzusehenden des arteriellen entfernt. Reichliche Blutversorgung bei großem Minutenvolum und dadurch bedingte Senkung der Kohlensäurespannung des venösen Blutes muß nach dem Gesagten das Spannungsgefälle von Gewebe zu Blut begünstigen und dadurch die Ausscheidung der Kohlensäure erleichtern. Stärkere Durchblutung unter gleichen Bedingungen der Tätigkeit ändert demnach die Wasserstoffionenkonzentration in den Organen und muß so deren Funktion beeinflussen. Durch diese Überlegungen gewinnen die Resultate von Krogh und Lindhard (8) große Bedeutung für die Beurteilung der Tätigkeitsbedingungen der Organe. Die Deutung ist deshalb vorläufig unmöglich, weil wir nicht annehmen können, solche Schwankungen der Durchblutungsgröße beträfen alle Organe und alle Organe gleichmäßig. Hier wird weitere Forschung einzusetzen haben. Sind wir ja doch über die Ursache der Schwankungen des Minutenvolums unter anscheinend gleichen Ruhebedingungen bei ein- und derselben Versuchsperson bisher in keiner Weise orientiert.

Zusammenfassung.

Die Kohlensäurespannung des arteriellen Blutes, bestimmt durch Alveolargasanalysen nach Haldane, hält sich während eines

Tages nicht konstant auf derselben Höhe, sondern weist regelmäßige Schwankungen auf.

Im Laufe des Vormittags steigt die Kohlensäurespannung und erreicht in den späteren Morgenstunden ein erstes Maximum. Gegen Mittag weist die Kurve eine kleine Senkung auf. Nachmittags steigt die Kurve wieder an zu einem plateauartigen zweiten Maximum. Einer zweiten mäßigen Senkung in den späteren Nachmittagsstunden folgt eine dritte Erhebung am Abend. Die morgens nüchtern gewonnenen Werte sind im allgemeinen die niedersten des ganzen Tages. Die größte Differenz der während eines Tages von derselben Versuchsperson gewonnenen Werte der Kohlensäurespannung überschreitet nur ausnahmsweise 2 mm.

Die regelmäßigen Steigerungen der Kohlensäurespannung während eines Tages sind bedingt durch die mit der Nahrungszufuhr einhergehenden Verdauungsvorgänge, die mit einer Verschiebung saurer Valenzen aus dem Blute in die Verdauungssekrete verbunden sind.

Bei kohlehydratfreier Ernährung bleiben die Tagesschwankungen gewahrt und setzen sich einfach auf die im Laufe der Tage durch Bildung abnormer Säuren bedingte Senkung und den folgenden Wiederanstieg der Kohlensäure-Spannungskurve auf.

Bei Zufuhr abnorm reichlicher alkalischer Valenzen in der Nahrung durch vegetarische Kost fallen die Steigerungen der Kohlensäurespannung nach Nahrungszufuhr abnorm stark aus entsprechend der Resorption von Alkalien. Rasch kehrt die Kohlensäurespannung jedoch an jedem Tage zur Norm zurück infolge der raschen Ausscheidung des überschüssigen Alkalis im Harn.

Das Bestehenbleiben der Senkung der Kohlensäurespannung bei kohlehydratfreier Kost im Gegensatz zum raschen Ausgleich des Anstiegs bei vegetarischer Kost erklärt sich daraus, daß die bei kohlehydratfreier Kost im Körper selbst gebildeten pathologischen Säuren weniger prompt im Urin ausgeschieden werden können als per os zugeführtes Alkali.

Die Kohlensäurespannung des venösen Blutes folgt häufig in groben Zügen den regelmäßigen Schwankungen des arteriellen Blutes. Doch fehlt der Kurve des venösen Blutes Regelmäßigkeit und Gesetzmäßigkeit auch während eines Tages. An verschiedenen Tagen ist die Differenz der Kohlensäurespannung in arteriellem und venösem Blute bei derselben Versuchsperson unter denselben Ruhebedingungen außerordentlich wechselnd (Schwankungen um gegen

300 %) entsprechend dem von Krogh und Lindhard festgestellten sehr starken Schwanken des Minutenvolums in der Ruhe.

Die Schwankungen der Kohlensäurespannung des venösen Blutes unter Ruhebedingungen müssen die Kohlensäurespannung in den Organen und damit die Funktion derselben in einer vorläufig nicht näher geklärten Weise beeinflussen.

Herr Prof. Dr. von Romberg hat mir in entgegenkommendster Weise zur Durchführung der vorliegenden Arbeit die Mittel des Laboratoriums der I. medizinischen Klinik zur Verfügung gestellt. Hierfür, sowie für die Übernahme des Referates der Arbeit bin ich ihm zu größtem Danke verpflichtet. Herrn Privatdozent Dr. Straub danke ich für Anregung zu der Arbeit und für vielfache Unterstützung bei Ausarbeitung derselben.

Literaturverzeichnis.

1. J. Barcroft, The respiratory function of the blood. Cambridge 1914.
2. C. G. Douglas, Die Regulation der Atmung beim Menschen. Ergebn. d. Physiol. 14, 1914 p. 338.
3. J. S. Haldane u. J. G. Priestley, The regulation of the lung-ventilation. Journ. of Physiol. 32, 1905 p. 225.
4. C. G. Douglas u. J. S. Haldane, The regulation of normal breathing. Journ. of Physiol. 38, 1909 p. 420.
5. J. M. Campbell, C. G. Douglas, J. S. Haldane u. F. G. Hobson, The response of the respiratory centre to carbonic acid, oxygen and hydrogen ion concentration. Journ. of Physiol. 46, 1913 p. 301.
6. K. A. Hasselbach, Neutralitätsregulation und Reizbarkeit des Atemzentrums in ihren Wirkungen auf die Kohlensäurespannung des Blutes. Biochem. Zeitschr. 46, 1912 p. 403.
7. H. L. Higgins, The influence of food, posture and other factors on the alveolar carbon dioxide tension in man. American Journ. of Physiol. 34, 1914 p. 114.
8. A. Krogh u. J. Lindhard, Measurements of the blood flow through the lungs of man. Skand. Arch. f. Physiol. 27, 1912 p. 100.
9. A. Löwy, Über den Einfluß einiger Schlafmittel auf die Erregbarkeit des Atemzentrums, nebst Beobachtungen über die Intensität des Gaswechsels im Schlaf beim Menschen. Berliner klin. Wochenschr. 1891 Nr. 18.
10. J. Plesch, Haemodynamische Studien. Zeitschr. f. exper. Pathol. u. Therap. 6, 1909 p. 380.
11. O. Porges, A. Leimdörfer u. E. Markovici. Über die Regulation der Atmung in pathologischen Zuständen. Wiener klin. Wochenschr. 23, 1910 p. 1406.
12. Dies., Über die Kohlensäurespannung des Blutes in pathologischen Zuständen. Zeitschr. f. klin. Med. 73, 1911 p. 389.
13. Dies., Über die Kohlensäurespannung des Blutes in pathologischen Zuständen. II. Über die Kohlensäurespannung des Blutes in der kardialen und pulmonalen Dyspnoe. Zeitschr. f. klin. Med. 77, 1913 p. 447.
14. Dies., Über die Kohlensäurespannung des Blutes in pathologischen Zuständen. III. Über die Kohlensäurespannung bei Nierenerkrankungen. Zeitschr. f. klin. Med. 77, 1913 p. 464.

15. O. Porges, Über die Beziehungen der Kohlensäurespannung des Blutes zur Lungenventilation. Biochem. Zeitschr. 54, 1913 p. 182.
16. H. Straub u. C. Schlayer, Die Urämie eine Säurevergiftung? Münchener med. Wochenschr. 59, 1912 p. 569.
17. H. Straub, Acidosebestimmungen bei Diabetes mellitus. Deutsch. Arch. f. klin. Med. 109, 1913 p. 223.
18. H. Straub, K. Beckmann, H. Erdt u. M. Mettenleiter. Alveolargasanalysen. I. Deutsch. Arch. f. klin. Med. 117, 1915 p. 397.
19. Dies., Alveolargasanalysen. II. Deutsch. Arch. f. klin. Med. 117, 1915 p. 419.

Lebenslauf.

Hermann Erdt wurde am 1. Mai 1890 in Partenkirchen als Sohn des praktischen Arztes Dr. Viktor Erdt geboren. Nach Besuch der Volksschulen in Partenkirchen und Augsburg kam er in das dortige Annagymnasium. Er benützte noch die Gymnasien zu Schweinfurt und Burghausen und absolvierte 1910 das Ludwigsgymnasium in München. Im Winterhalbjahr 1910/11 genügte er seiner Militärpflicht in München und wandte sich dann dem Studium der Medizin zu. Er bestand 1913 die ärztliche Vorprüfung in München. Zurzeit ist er als Feldunterarzt im Heeresdienst verwendet.

G. Pätz'sche Buchdruckerei
Lippert & Co. + G. m. b. H.
+ Naumburg a. d. S. +